Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Universität Prag.

X. Beiträge zur Kenntniss der absoluten Festigkeit von Pflanzengeweben. I.

Von Dr. **Franz Lukas,**
k. k. Gymnasial - Lehrer in Krumau.

Bekanntlich hat Schwendener[1] zuerst eingehend gezeigt, dass die Pflanze bestimmte Zellformen, welche zur Herstellung der nöthigen Festigkeit dienen, also mechanische Zellen besitze. Als solche bezeichnet er die Bastfasern, das bastfaserähnliche Collenchym und gewisse stärkere Elemente des Xylems, und zeigte durch seine Untersuchungen in überzeugender Weise, dass die mechanischen Zellen in Bezug auf den Ort ihres Auftretens an keine morphologische Regel sich binden, dass insbesondere die Bastfasern eine verschiedene Stellung zum Xylem haben, immer aber so gruppirt sind, wie es zur Erreichung der grösstmöglichen Festigkeit des Organes bei gegebenem Materialaufwande nothwendig ist.

Auf Anregung des Herrn Professors Dr. G. Adolf Weiss, dem für die mannigfachen Andeutungen und für die bereitwilligste Überlassung der nöthigen Instrumente der ergebenste Dank ausgesprochen sei,[2] unternahm ich während meines Aufenthaltes in Prag eine Reihe von Versuchen, um sowohl die verschiedenen

[1] Das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen. Leipzig 1874.

[2] Auch Herrn Privatdocenten Dr. Johann Kreuz fühle ich mich für so manchen Wink zum Dank verpflichtet.

Gewebe in Bezug auf ihre absolute Festigkeit zu untersuchen und miteinander zu vergleichen, als auch, um dem Grunde der Verschiedenheit in der Festigkeit eines und desselben Gewebes bei verschiedenen Pflanzen und verschiedener Gewebe bei derselben Pflanze nachzugehen.

Schwendener schnitt bei seinen Versuchen zur Ermittlung der Elasticität und Festigkeit des Bastes aus Blättern oder bastreichen Stengeltheilen Riemen von 150—400 Mm. Länge und 2—5 Mm. Breite heraus. Der Riemen wurde mit dem oberen Ende in einen Schraubstock, mit dem anderen in eine starke Pincette gefasst, welche zum Aufhängen der Gewichte eingerichtet war. An der schmalsten Stelle wurden Querschnitte gemacht, an diesen der Flächeninhalt sämmtlicher Basttheile gemessen — Mesophyll wurde nicht berücksichtigt — daraus und aus den angehängten Gewichten die Tragfähigkeit für 1 □Mm. innerhalb der Elasticitätsgrenze berechnet. Zugleich mass Schwendener auch die Längenzunahme mittelst eines Linեales, an dem die Länge des eingespannten Riemens zwischen Schraubstock und Pincette durch Striche vor der Belastung und nach derselben und noch einmal nach Abnahme der Gewichte bezeichnet wurde. Die Entfernung der unteren Striche gab die Ausdehnung bei der Belastung und eine etwaige bleibende Verlängerung oder die vollständige Elasticität des Riemens an.

Die Versuche ergaben folgende Resultate:

Name	Verlängerung auf 1000	Tragvermögen für 1 □Mm.	Elasticitätsmodulus
Phormium tenax	13	20	1540
„ „	14	16	1140
Fritillaria imperialis . . .	12	—	—
Lilium auratum	7·6	19	2500
Jubaea spectabilis	12·6	20	1580
Papyrus antiquorum . . .	15·2	20	1310
Molinia coerulea	11	22	2000
Pincenectia recurvata . . .	14·5	25	1720
Dianthus capitatus	7·5	14·3	1910
Secale cereale	4·4	15—20	3450

Zur Vergleichung dient folgende, aus der 5. Auflage von Weisbach's „Ingenieur- und Maschinenmechanik" entnommene Tabelle für Metalle innerhalb der Elasticitätsgrenze:

Name	Verlängerung auf 1000	Tragvermögen für 1□Mm.	Elasticitätsmodulus
Schmiedeeisen in Stäben .	0·67	13·13	19700
„ „ Drähten	1	21·9	21900
„ „ Blechen	0·8	14·6	18300
Deutscher Stahl, gehämmert und angelassen . .	1·2	24·6	20500
Messing	0·75	4·85	6400
Messingdraht	1·35	13·3	9870
Zinkguss	0·24	2·3	9500
Kupferdraht	1	12·1	12100

Die Versuche ergaben, dass der Bast den Metallen, sogar dem Stahle innerhalb der Elasticitätsgrenze in Bezug auf Tragvermögen ebenbürtig ist; dass aber der Unterschied zwischen der Tragfähigkeit innerhalb der Elasticitätsgrenze und jener bis zum Zerreissen beim Baste weit geringer ist als bei den Metallen, so dass also die Natur beim Baste ihre ganze Sorgfalt auf das Tragvermögen verwendet.[1]

Für meine Versuche wurden aus von der Pflanze frisch abgenommenen Blättern oder Stengeltheilen Gefässbündel, Collenchym, Riemen von Grundgewebe, Epidermis etc. mittelst Lancette herauspräparirt und das Bündel oder der Riemen an beiden Enden in Schraubenklemmen eingespannt, die mit Kork gepolstert waren, damit nicht das Bündel zerquetscht oder von den Rändern der Klemme zerschnitten werde. Die obere Klemme wurde an einem horizontalen Balken befestigt, an die untere eine Schale angehängt und diese bis zum Zerreissen des eingespannten Gewebes mit Schrottkörnchen vorsichtig beschwert. Nahe unter der Schale war eine verschiebbare Scheibe angebracht, damit

[1] Erweitert wurden Schwendener's Untersuchungen später durch Arbeiten von Weinzierl, Ambronn, Reinke, Pfeffer, Haberlandt u. A.

nicht beim Reissen des eingespannten Gewebes die Schale tief falle und etwa Schrottkörnchen verstreut werden. Jede Torsion des Gewebes wurde sorgfältig vermieden und dasselbe fortwährend mittelst Pinsels angefeuchtet.[1]

Tabelle I.

Gefässbündel des Blattes von *Aspidistra lurida.*

Versuch	Länge des Bündels in Mm.	Ausdehnung	Ausdehnung auf 10 Mm.	Differenz von der Durchschnittszahl	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt des Querschnittes	*a* Festigkeitsmass	*c* Zunahme der Festigkeit für 0·01 □ Mm.	*b* nach der durchschnittlichen Zunahme für 0·01 □ Mm. berechnetes Festigkeitsmass	Differenz zwischen *a* und *b*	Differenz zwischen *c* und der durchschnittlichen Festigkeit für 0·01 □ Mm. aus allen Versuchen
		Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	□ Mm.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
1	60	3	0·5	0·03	0·1356	0·1024	0·01089	165	151·5	168·2	— 3·2	— 4·8
2	30	2	0·66	0·13	0·1356	0·1024	0·01089	165	151·5	168·2	— 3·2	— 4·8
3	20	1·2	0·6	0·07	0·1356	0·1024	0·01089	165	151·5	168·2	— 3·2	— 4·8
4	23·8	0·8	0·33	0·20	0·15449	0·1264	0·01532	249	162·6	239·4	+ 9·6	+ 6·3
5	34	2	0·59	0·06	0·16854	0·1264	0·01677	263	156·7	262·1	+ 0·9	+ 0·4
6	28·2	1	0·35	0·18	0·16854	0·1404	0·01869	262	140	292·1	—30·1	—16·3
7	28	2	0·71	0·18	0·2528	0·1404	0·02784	450	161·6	435·1	+14·9	+ 5·3
8	13	0·8	0·61	0·08	0·2809	0·21067	0·04642	759	163·5	725·5	+33·5	+ 7·2
9	33	1·8	0·54	0·01	0·32303	0·22472	0·05698	952	167	890·5	+61·5	+10·7
10	18	1	0·55	0·02	0·3707	0·23314	0·0682	1044	153	1066·5	—22·5	— 3·3
11	7·5	0·5	0·66	0·13	0·36517	0·2387	0·0682	1123	164·6	1066·5	—56·5	+ 8·3
12	10	0·5	0·5	0·03	0·46348	0·22472	0·0817	1243	152·1	1276·9	—32·6	— 4·2

Durchschnittliche Zunahme der Festigkeit für 0·01 □ Mm. = 156·3 Grm.

[1] Die Versuche werden im Nachfolgenden in derselben Reihenfolge mitgetheilt, in der sie angestellt wurden, daher auch die daraus gezogenen Resultate, so dass der Gang der Arbeit ein genetischer ist.

Vergleicht man die Flächeninhalte der Querschnitte mit dem gefundenen Festigkeitsmasse,[1] so sieht man, dass dieses mit dem Flächeninhalte wächst. Nimmt man einzelne Versuche, z. B. den 1., 4. und 5., so ist das Verhältniss der Querschnitte 11 : 15 : 16, das der Festigkeitsmasse derselben Versuche 16 : 25 : 26, also in beiden Fällen nahezu dasselbe. Die Festigkeit von Gefässbündeln desselben Blattes steht in geradem Verhältnisse zum Flächeninhalte des Querschnittes. Und zwar entspricht einer Zunahme des Querschnittes um 0·01 □Mm. eine Zunahme der Festigkeit um 156·3 Grm. Die grösste Abweichung von dieser Durchschnittszahl zeigt der 6. Versuch, nämlich 16·3 Grm., dann folgt der 9. mit 10·7 Grm.; bei allen übrigen ist die Abweichung gering, am kleinsten beim 5. Versuche, nämlich 0·4 Grm.

Aus der Festigkeit irgend eines vorher untersuchten Bündels und dem Querschnitte eines zum Versuche vorbereiteten konnte die Festigkeit für dieses berechnet werden und wurde immer annäherungsweise richtig befunden.

Beim 1., 2. und 3. Versuche wurde dasselbe Stück eines Gefässbündels benützt, der Querschnitt blieb derselbe, in genauer Übereinstimmung damit auch die Festigkeit. Bei Versuch 8, 9 und 10 wurde ebenfalls dasselbe Bündel, aber in verschiedener Entfernung von der Blattspitze benützt, der Querschnitt änderte sich in gleichem Verhältnisse auch die Festigkeit.

Von sämmtlichen (18) angestellten Versuchen sind sechs, welche mit den aus den 12 in die Tabelle aufgenommenen Versuchen gezogenen Resultaten nicht übereinstimmen, doch stimmen einige wenigstens noch annäherungsweise. Diese 6 Versuche müssten wohl mitberücksichtigt werden, wenn das Festigkeitsmass bei ihnen grösser gewesen wäre, als bei jenen zwölf Versuchen, bei allen aber war es geringer, als die Berechnung ergab und als es dem Querschnitte zufolge sein sollte. Es dürfte desshalb wohl ein kleiner Einriss oder Bruch einiger Bastfasern vor dem Versuche die Schuld an der Nichtübereinstimmung tragen, so dass durch das Resultat dieser 6 nicht stimmenden

---

[1] Als Festigkeitsmass gilt das Gewicht, welches das Zerreissen des Bündels bewirkt.

Fälle das aus 12 stimmenden gezogene Resultat wohl nicht beeinträchtigt wird.

Der Flächeninhalt des Querschnittes wurde entweder nach der Formel für die Ellipse berechnet, oder die Querschnittsfigur wurde in Dreiecke, Quadrate etc. zerlegt und diese berechnet.[1] Eine ganz genaue Berechnung des Flächeninhaltes war wohl nicht möglich. Daraus, sowie auch, weil sich das etwaige Reissen einzelner Elemente des Gefässbündels vor dem Versuche oder während desselben nicht hindern liess, obwohl das Bündel fortwährend angefeuchtet und jede Torsion vermieden wurde, erklären sich die Abweichungen der Versuche untereinander. Diese werden, wie aus der Tabelle ersichtlich, grösser, je grösser der Querschnitt wird. Dies ist natürlich, denn stärkere Bündel zeigen an ihrer Peripherie Bastfasern mit mehr verdickten Zellwänden als schwächere Bündel; daher muss beim grösseren Querschnitte (mit mehr verdickten Wänden der Faserzellen an der Peripherie) die Zunahme der Festigkeit etwas grösser sein, als der Zunahme in genau geradem Verhältnisse entspräche. Andererseits muss bei stärkeren Bündeln das etwaige Reissen einiger mehr verdickten Fasern vor dem Versuche auch eine grössere Abweichung (in negativem Sinne) bewirken als bei schwächeren Bündeln mit weniger verdickten Fasern an der Peripherie. — Ein Fehler von $^1/_{1000}$ □Mm. in der Berechnung des Flächeninhaltes bedingt schon eine Abweichung von 15·6 Grm. in der Festigkeit. Bei 6 von den 12 in die Tabelle aufgenommenen Versuchen ist der Fehler nicht einmal so gross. Eine genaue Übereinstimmung sämmtlicher Versuche ist also wohl geradezu unmöglich, und entspräche auch gar nicht den factischen Verhältnissen.

In einigen Fällen schien es, als ob sich die Festigkeit mit der Länge des Gefässbündels ändere; direct dagegen aber sprechen die Versuche 1, 2 und 3, wo die Festigkeit dieselbe blieb, trotzdem die Länge im 2. Falle $^1/_2$, im 3. Falle $^1/_3$ der Länge des ersten beträgt.

In das Verhältniss von Trag- und Festigkeits-Modul soll im zweiten Theile näher eingegangen werden; es ist schon durch

[1] Die in der Tabelle angegebenen Zahlen für die Flächeninhalte sind desshalb selbstverständlich nicht das Product aus Längs- und Querdurchmesser.

die Versuche von Ambronn[1] für Collenchym erwiesen worden, dass dieselben oft weit auseinanderliegen.

Tabelle II.

Gefässbündel des Blattes von *Phoenix dactylifera*.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	*a* Festigkeitsmass	*c* Zunahme für 0·01 □Mm.	*b* nach der durchschnittlichen Zunahme für 0·01 □Mm. berechnetes Festigkeitsmass	Differenz zwischen *a* und *b*	Differenz zwischen *c* und der Durchschnittszahl für 0·01 □Mm. aus allen Versuchen
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.	Grm.	Grm.	Grm.
1	3·5	0·19663	0·11236	0·01733	288	166·1	298·4	—10·4	—6·1
2	35·5	0·21067	0·11236	0·01857	329	177·1	319·7	+ 9·3	+4·9
3	8·5	0·3089	0·16859	0·03816	666	174·2	657	+ 9	+2
4	7	0·33765	0·15449	0·04084	722	176·7	703·2	+18·8	+4·5
5	44	0·4733	0·16850	0·04733	800	169	815	—15	—3·2
6	44	0·36517	0·16517	0·04707	802	170·3	810·5	— 8·5	—1·9
7	22·6	0·36517	0·16454	0·04707	813	172·7	810·5	+ 2·5	+0·5
8	12·2	0·35112	0·1685	0·05898	1013	171·7	1015·6	— 2·6	+0·5

Durchschnittliches Festigkeitsmass für 0·01□Mm = 172·2 Grm.

[1] Sitzungsberichte des botanischen Vereines für Brandenburg 1880, XII. p. 48. Pringsheim's Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik XII., p. 473.

Auch hier wächst die Festigkeit mit dem Querschnitte, aber während bei Aspidistra die Zunahme für 0·01□Mm. 156·3 Grm. betrug, beträgt sie bei Phoenix 172·2 Grm., ist also bedeutend grösser. Vergleicht man die Zellen des Gefässbündels bei Phoenix mit denen bei Aspidistra, so findet man, dass bei jener die Bastfasern weit mehr verdickte Zellwände zeigen, als bei dieser. Die Festigkeit des Gefässbündels hängt also nicht allein von der Grösse des Querschnittes, sondern auch von dem Grade der Verdickung der Zellwände ab.

Die Differenzen der Zunahme für 0·01□Mm. bei jedem einzelnen Versuche von dem Durchschnittsmasse der Festigkeit für 0·01□Mm. aus allen Versuchen sind hier bedeutend geringer als bei Aspidistra. Die grösste Differenz beim 1. Versuche beträgt 6·1 Grm., die kleinste beim 7. und 8. Versuche ist 0·5 Grm.

Ausser den in die Tabelle II aufgenommenen 8 Versuchen wurden noch 4 andere gemacht, von denen 3 geringere Zahlen ergaben, daher nicht berücksichtigt wurden, bei einem Versuche aber war die Festigkeit eine grössere. Hier zeigte sich jedoch, dass nicht ein Gefässbündel, sondern ausser etwas Mesophyll noch ein zweites kleineres, bloss aus Bastfasern bestehendes Bündel mit eingeklemmt war.

Ganz abweichende Resultate ergaben die Versuche mit dem Mittelnerv desselben Blattes:

Tabelle III.

Versuch	Länge	Langsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	*a* Festigkeitsmass	*c* Zunahme für 0·01□Mm.	*b* nach der durchschnittl. Zunahme für 0·01□Mm. berechnetes Festigkeitsmass	Differenz zwischen *a* und *b*	Differenz zwischen *c* und der Durchschnittszahl für 0·01□Mm. aus allen Versuchen
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.	Grm.	Gr.	Gr.
1	8	0·33706	0·16853	0·04497	564	125·4	592·7	—28·7	— 6·4
2	53	0·32303	0·18258	0·04658	593	127	613·9	—20·9	— 4·8
3	6	0·33706	0·19663	0·05185	685	132·1	683·4	+ 2·6	+ 0·2
4	17	0·3511	0·19663	0·05417	773	142·6	713·7	+59·3	+10·8

Die Zunahme der Festigkeit des Mittelnerves für 0·01□Mm. beträgt 131·8 Grm., mithin bedeutend weniger als für die übrigen Bündel desselben Blattes und zwar desshalb, weil dieses Bündel Gefässe mit verhältnissmässig weit grösserem Lumen zeigte. Es hängt also die Festigkeit des gesammten Bündels nicht bloss von der Grösse des Querschnittes und dem Grade der Verdickung der Zellwände, sondern auch von der Weite der Lumina im Verhältnisse zum Gesammtquerschnitte ab.

Daraus ergab sich nun die Nothwendigkeit, das Verhältniss zwischen dem Flächeninhalte, den die Lumina und dem, den die Zellwände einnehmen, zu bestimmen.

Bei Aspidistra zeigte schon eine oberflächliche Abschätzung, dass Lumen und Zellwand beiläufig im Verhältnisse 2:3 stehen, dass also die Zunahme der Festigkeit der Zellwand für 0·01□Mm. beiläufig gleich ist $\frac{5}{3} \times 156 \cdot 3$ Grm., d. i. 260·5 Grm.

Bei Phoenix ergab die oberflächliche Abschätzung das Verhältniss 1:2 zwischen Lumen und Zellwand, also die Zunahme der Festigkeit für 0·01□Mm. $= \frac{3}{2} \times 172 \cdot 2$ Grm. = 258·3 Grm.

Um nun genauere, obwohl selbstverständlich immer nur beiläufige Werthe zu erhalten, wurde der stärkste Querschnitt von Phoenix (Versuch 8, Tab. II) und von Aspidistra (Versuch 12, Tab. I) gewählt. Von je 10 Zellen mit verschiedenem Lumen wurde die Dicke der Zellwand und das Lumen gemessen und aus sämmtlichen Messungen das Mittel gezogen; sodann wurden sämmtliche Zellen des Bündels gezählt, deren Summe mit dem gefundenen Mittel multiplicirt und so der Flächeninhalt der Lumina, sowie die Zellwände berechnet.

Dies ergab folgende Resultate:

Tabelle IV.

Name	Apidistra	Phoenix
	Mm.	Mm.
Durchmesser des Bündels	0·4634	0·35112
Durchmesser des grössten Gefässes . .	0·02394	0·02394
Durchm. des Lumens der Bastfaser (Mittel)	0·01026	0·003421

Name	Aspidistra	Phoenix
	Mm.	Mm.
Dicke der Zellwand der Bastfaser (Mittel)	0·005133	0·005133
	□Mm.	□Mm.
Flächeninhalt des Bündels	0·0817	0·05898
Flächeninhalt der Lumina	0·0328	0·0489
Flächeninhalt der Zellwände	0·01818	0·0408
Verhältniss von Lumen und Zellwand . .	2 : 3	9 : 20
	Gr.	Gr.
Festigkeitsmass des ganzen Bündels . .	1243	1013
a Zunahme für 0·01□Mm.	152·1	171·7
b Zunahme für 0·01□Mm. der Zellwand . .	254·19	248·28
Differenz zwischen *a* und *b*	102·09	76·58

Bei Aspidistra hatte das grösste Gefäss einen Durchmesser von 0·023947 Mm. bei einem Gesammtdurchmesser des Bündels von 0·46348 Mm., die Bastfasern hatten einen Durchmesser des Lumens von 0·01026 Mm. und deren Zellwände eine Dicke von 0·005133 Mm.

Bei Phoenix hatte das grösste Gefäss ebenfalls einen Durchmesser von 0·023947 Mm. bei einem Gesammtdurchmesser des Bündels von 0·35112□Mm.; dagegen hatten hier die Lumina der Bastfasern einen Durchmesser von 0·003421 Mm. bei einer Dicke der Zellwand von 0·005133 Mm. — Bei Aspidistra war also das Lumen doppelt so gross als die Dicke der Zellwand, bei Phoenix aber letztere $1^1/_2$ mal so gross als ersteres. Es ist desshalb natürlich, dass bei Phoenix die Festigkeit auf 0·01□Mm. des gesammten Querschnittes eine grössere ist, als bei einem Bündel mit gleich grossem Querschnitte von Aspidistra.

Bei Aspidistra beträgt der Flächeninhalt 0·0817□Mm., der sämmtlicher Zellwände 0·0489□Mm., der der Lumina 0·0328□Mm., das Festigkeitsmaas ist 1243 Grm., Verhältniss von Lumen zu Zellwand nahezu wie 2:3. Einen Zuwachs der Dicke der Zellwand um 0·01□Mm. entspricht ein Zuwachs der Festigkeit von 254·2 Grm.

Bei Phoenix beträgt der Flächeninhalt des ganzen Bündels 0·05898□Mm., der des Lumens 0·01818□Mm., der der Zellwände 0·0408□Mm. Das Verhältniss zwischen Lumen und Zellwand ist 9:20 oder nahe 1:2. Die Festigkeit beträgt 1013 Grm. Daher entspricht einer Zunahme der Dicke der Zellwand um 0·01□Mm. eine Zunahme der Festigkeit um 248·28 Grm.

Tabelle V.

Gefässbündel des Blattes von *Yucca pendula.*

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	*a* Festigkeitsmass	*c* Zunahme für 0·01□Mm.	*b* nach der durchschnittl. Zunahme für 0·01□Mm. berechnetes Festigkeitsmass	Differenz zwischen *a* und *b*	Differenz zwischen *c* u. d. gefundenen Durchschnittszahl f. 0·01□Mm. aus allen Versuchen
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.	Grm.	Grm.	Grm.
1	8	0·22472	0·11236	0·02523	245	97·1	245·9	+ 0·9	—0·4
2	44	0·16853	0·15449	0·02603	254	97·6	253·7	— 0·3	+0·1
3	7	0·25281	0·14045	0·02778	275	98·9	270·8	— 4·2	+1·4
4	6	0·22472	0·16852	0·0297	280	94·2	289·6	+ 9·6	—3·3
5	15	0·23876	0 16852	0 03147	305	96·9	306·8	+ 1·8	—0·6
6	30	0·23876	0·16852	0 03147	317	100·7	306·8	—10 2	+3·2

Durchschnittliches Festigkeitsmass für 0·01□Mm. = 97·5 Grm.

Die Differenzen der Versuche untereinander sind hier gering, die grösste Differenz von der Durchschnittszahl für 0·01□Mm. ist beim 4. Versuch, nämlich 3·3 Grm.

Die Durchschnittszahl der Zunahme für 0·01□Mm., 97·5 Grm., ist kleiner als bei Aspidistra und Phoenix und dies desshalb, weil die grösseren Gefässe im Bündel noch weit zahlreicher sind als bei Aspidistra und Phoenix; die Lumina nehmen einen viel grösseren Theil des Querschnittes ein. Es wurde nun

auch hier das Verhältniss zwischen Lumen und Zellwand gemessen und zwar bei Versuch 4.

Der Flächeninhalt des ganzen Querschnittes beträgt 0·0297□Mm., davon nehmen die Lumina 0·016836□Mm., die Zellwände 0·012836□Mm. ein; es ist also das Verhältniss zwischen Zellwand und Lumen beiläufig wie 12:16 oder 3:4; die Zunahme der Festigkeit für 0·01□Mm. der Zellwand ist 218·1 Grm., mithin um 36·1 Grm. weniger als bei Aspidistra, und um 30·18 Grm. weniger als bei Phoenix.

Bei Aspidistra und Phoenix bestand das Bündel beinahe nur aus Faserzellen, das Mestom war ganz gering entwickelt, viel weniger als bei Yucca. In Übereinstimmung damit ist auch die Festigkeit bei Aspidistra und Phoenix grösser als bei Yucca. Die Verdickung der Zellwände wurde bei jenen beiden nahezu gleich gefunden aber bedeutender als bei Yucca, in Übereinstimmung damit ist auch die Festigkeit bei jenen nahezu gleich, bei beiden aber grösser als bei dieser, ein Beweis mehr dafür, dass es vorzüglich die bastfaserähnlichen Elemente des Bündels sind, welche die Festigkeit bedingen, dass aber diese mit dem Grade der Verdickung der Zellwand wächst.

Es wurden nun an den Querschnitten von Aspidistra, Phoenix und Yucca Reactionen mit Chlorzinkjod vorgenommen. Bei Aspidistra zeigte sich deutlich die gelbbraune Färbung am intensivsten, alle Zellwände, auch die des weniger verdickten Xylems waren verholzt, letztere jedoch weniger als die peripherischen Faserzellen. Ebenso intensiv war die Gelbfärbung bei Phoenix, aber hier war der Querschnitt etwas dicker, auch zeigten nicht alle Zellen Gelbfärbung, sondern im Centrum des Bündels waren einige violett gefärbte Partien. Bei Yucca endlich färbte sich nicht der ganze Querschnitt gleichmässig, sondern die gelben Partien waren getrennt durch blaue. Die gelben jedoch waren nahezu eben so intensiv als bei Phoenix und Aspidistra. Es ist also die Verholzung bei Aspidistra am weitesten, bei Phoenix fast ebenso, bei Yucca am wenigsten vorgeschritten. In Übereinstimmung damit ist die Festigkeit auf 0·01□Mm. der Zellwand bei Aspidistra am grössten und nur wenig grösser als bei Phoenix, bei Yucca am geringsten, so dass man sagen kann: Die Festig-

keit des Gefässbündels wächst unter sonst gleichen Umständen mit dem Grade der Verholzung.[1]

Um dieses Resultat auch auf andere Weise zu bestätigen und um zu untersuchen, in welcher Weise die das Bündel zusammensetzenden Zellformen an der Festigkeit Theil nehmen, wurde folgender Versuch gemacht.:

Das Gefässbündel von *Yucca pendula* ist an den den Blattflächen zugewendeten Seiten von je einer Sichel von stark verdickten Faserzellen umgeben. Die der Blattoberseite zugewendete Sichel ist grösser. Ihr zunächst folgt nach innen eine Schichte von Holzparenchymzellen, die weiter gegen das Centrum chlorophyllhältig und mit Holzgefässen vermischt sind, letztere werden gegen das Centrum immer häufiger; darauf folgt der Basttheil, bestehend aus Bastgefässen und Bastparenchym und zu äusserst die schon erwähnte Bastsichel. Man kann also fünf Zonen unterscheiden, zu äusserst je eine Bastsichel, (der Kürze wegen sei die der Blattunterseite zugewendete mit *b* die der Blattoberseite zugewendete mit *b'* bezeichnet), auf *b'* folgt eine Zone von Holzparenchym (*p*) auf *b* eine von Weichbast (*w*), zu innerst Gefässe (*g*). Die Behandlung mit Chlorzinkjod ergab für die Zonen *b* und *b'* intensive Gelbfärbung, auch die Gefässwände waren verholzt; die Zone *p* und insbesondere *w* waren violett gefärbt.

Wenn die pag. 299 u. 304 ausgesprochenen Sätze richtig sind, so muss den Zonen *b* und *b'* die grösste Festigkeit zukommen.

Nach zahlreichen Versuchen gelang es, das herauspräparirte Bündel durch einen Längsschnitt so zu theilen, dass einerseits die Zonen *b'* und *p*, letztere aber schon einige Gefässe enthaltend, andererseits die Zonen *b*, *w* und *g* beisammen waren.

Das ganze Bündel hatte einen Flächeninhalt von 0·04087□Mm., das Festigkeitsmass war 400 Grm.; das gibt auf 0·01□Mm. 97·8 Grm., mithin von der aus Tabelle V (Seite 11) gefundenen Durchschnittszahl nur um 0·3 Grm. abweichend.

[1] Dass auch der Wassergehalt eines Gewebes von grossem Einflusse auf dessen absolute Festigkeit ist, haben Weinzierl's Versuche gezeigt, nach welchen — wenigstens für Holz, Bast und Epidermis — die absolute Festigkeit mit dem abnehmenden Wassergehalte wächst.

Der Theil des Bündels, aus den Zonen *b'* und *p* bestehend, wurde nun eingeklemmt und belastet; das Festigkeitsmass war 250 Grm. Der Flächeninhalt 0·01858□Mm., das gibt auf 0·01□Mm. 134·5 Grm., mithin um 36·7 Grm. mehr als für 0·01□Mm. des ganzen Bündels; es mussten also hier Zellen sein, welche mehr zu tragen vermögen, als der Durchschnitt aus Tab. V ergibt. — Die Zone *b'* hatte einen Flächeninhalt von 0·01022□Mm. oder, wenn man die kleinen Lumina abrechnet, 0·00988□Mm. Nach den Ergebnissen der Tab. V, wo für 0·01□Mm. der Zellwand ein Festigkeitsmass von 218·1 Grm gefunden wurde, müsste der Zone *b'* allein — ihrem Flächeninhalt zufolge — ein Festigkeitsmass von 215·4 Grm. zukommen, so dass für die Zone *p* nur eine Festigkeit von 34·6 Grm. (= 250—215·4) übrigbleibt. Der von der Zone *p* mit abgetrennte Theil hatte einen Flächeninhalt von 0·00836□Mm., das gibt für 0·01□Mm. ein Festigkeitsmass von 41·3 Grm., mithin bedeutend weniger als für 0·01□Mm. der Zone *b'*. Die Festigkeit der Zone *p* muss aber noch geringer sein, als obige Berechnung ergab, denn bei der Berechnung der Festigkeit von 218·1 Grm. für 0·01□Mm. der Zellwand des g a n z e n Bündels wurden ja alle Zellen desselben als gleich tragfähig betrachtet, was aber nach dem vorhergehenden nicht der Fall ist.

Dies wurde durch weitere Versuche bestätigt. Es gelang nämlich, einen Theil der Zone *b'* zu isoliren und damit Versuche anzustellen. Diese ergaben Folgendes:

Tabelle VI.

Versuch	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.	Differenz vom Festigkeitsmasse für 0·01□Mm. des ganzen Bündels
	□Mm.	Grm.	Grm.	Grm.
1	0·00884	220	248·8	+31·4
2	0·00946	225	237·8	+24·1
3	0·00851	205	240·9	+22·9

Einem Flächeninhalte von 0·01□Mm. der Zone *b'* entspricht ein Festigkeitsmass von 242·7 Grm., nach Abrechnung der Lumina von 251 Grm. Die Zellen der Zone *b* sind ebenso stark verdickt und verholzt als die der Zone *b'*, es dürfte also auch die Festigkeit dieselbe sein. Der ganzen Zone *b'* käme ein Festigkeitsmass von 247·9 Grm. zu, für Zone *p* blieben 2·1 Grm., d. i. auf 0·01□Mm. 2·5 Grm., nach Abrechnung der Lumina etwa 8 Grm. Wenn nun auch diese Berechnung, wie nicht anders möglich, nur sehr annäherungsweise vorgenommen werden konnte, so ist doch so viel gewiss, dass die Differenz zwischen der Festigkeit der stark verdickten und verholzten Faserzellen und jener der nicht verholzten Zellen des Xylems sehr bedeutend ist.

Bei Berechnung des Festigkeitsmasses für 0·01□Mm. der Zellwand bei Aspidistra und Phoenix wurden ebenfalls alle Zellen des ganzen Bündels als gleichvieltragfähig betrachtet; die Festigkeit der Faserzellen dürfte also auch hier etwas bedeutender sein. Die Differenz kann aber hier nicht so gross sein, als bei Yucca, weil bei Aspidistra das ganze Bündel verholzte Zellen zeigte, nur im Centrum waren einige weniger verholzte, und auch bei Phoenix nur wenige Zellen nicht verholzt waren. Es ist also die Festigkeit der verholzten Theile bei Aspidistra, Yucca und Phoenix nahezu gleich. Dem entspricht auch, dass die Intensität der Gelbfärbung der verholzten Theile bei allen drei Pflanzen nahezu gleich war.[1]

Aus den pag. 299 u. 304 ausgesprochenen Sätzen im Vereine mit der Thatsache, dass nicht alle Zellen des Gefässbündels in gleich hohem Grade verdickt und verholzt sind, folgt, dass auch nicht alle Zellen in gleichem Grade an der Festigkeit des Bündels theilnehmen, sondern dass es vorzugsweise die bastfaserähnlichen und vom Xylem die verholzten Zellen sein werden, welche die Festigkeit des Bündels bedingen.

Auch dieser Satz wurde durch die letzten Versuche mit Yucca bestätigt, denn die Festigkeit der nicht verholzten Zone wurde als eine ganz geringe gefunden. Die Zellen dieser Zone werden demnach nicht vorwaltend mechanischen Zwecken dienen.

---

[1] Siehe Seite 303.

Um nun auch an dicotylen Pflanzen Versuche zu machen, wurden die Gefässbündel des Blattes von *Saxifraga sarmentosa* genommen. Dieselben lassen sich ganz leicht ohne jedes Präpariren aus dem Blattstiel herausziehen, oder vielmehr der gebrochene Blattstiel lässt sich über die Gefässbündel herabziehen, so dass dieselben aus dem noch übrigen Stücke des Blattstieles wie Fäden heraushängen.

Die Versuche gaben folgende Resultate:

Tabelle VII.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	37	0·5618	0·4213	0·1558	68	4·3
2	30	0·47752	0·4775	0·1778	83	4·6
3	35	0·6178	0·5476	0·2655	95	3·6
4	20	0·6178	0·5476	0·2655	100	3·8
5	28	0·67412	0·67412	0·3566	190	5·3
6	20	0·7022	0·7022	0·387	203	5·2
7	61	0·7865	0·632	0·3895	130	3·3

Das Mittel aus diesen Versuchen gibt für 0·01□Mm. des Flächeninhaltes ein Festigkeitsmass von 4·3 Grm., ein im Vergleiche zu den bisher untersuchten Pflanzen auffallend geringes. Ist der pag. 304 ausgesprochene Satz richtig, so muss die Entwicklung des bastfaserähnlichen Systemes und der Grad der Verholzung im Gefässbündel ein geringer sein. Dies wird durch die Untersuchung des Querschnittes bestätigt: Die Reaction mit Chlorzinkjod zeigte, dass nur ein geringer Theil des Bündels, etwa $^1/_9$, ein um die centralen Gefässe herumliegender Ring von Zellen verholzt ist. Der Flächeninhalt des ganzen Bündels beim 7. Versuche betrug 0·3895□Mm., der des verholzten Theiles 0·046□Mm. Das ganze Festigkeitsmass des Bündels für diesen

verholzten Theil in Anspruch genommen, gibt für 0·01□Mm. desselben ein Festigkeitsmass von 28·2 Grm. Die Lumina verhalten sich zu den Zellwänden etwa wie 19:8, so dass sich für 0·01□Mm. der Zellwand ein Festigkeitsmass von 95·1 Grm. ergibt, mithin immer noch bedeutend weniger als bisher gefunden wurde. Damit stimmt überein, dass der Grad der Verholzung und die Entwicklung des bastfaserähnlichen Systemes hier eine bedeutend geringere war.[1]

Um zu untersuchen, ob nicht etwa ausser dem Gefässbündel noch andere Gewebe zur Festigkeit des Blattstieles beitragen, wurden aus dem Grundgewebe des Blattstieles von *Saxifraga sarmentosa* Riemen herausgeschnitten und diese eingespannt.

Es ergaben sich folgende Resultate:

Tabelle VIII.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	10	1·5449	0·561	0·7668	18	0·23
2	22	1·4045	0·2809	0·3945	15	0·38
3	14	1·26405	0·3511	0·4438	14	0·31

Das Festigkeitsmass des Grundgewebes für 0·01□Mm. ist 0·3 Grm. und selbst auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt nur 7·2 Grm., also ein ganz geringes, so dass es für die Festigkeit des Blattstieles wohl nicht in Betracht kommt.

Es wurde nun vom Blattstiele die Epidermis herabgezogen, das Grundgewebe so viel als möglich entfernt und der Riemen eingespannt.

[1] Desshalb stehen auch die Blätter nicht aufrecht, sondern liegen wieder.

Die Versuche ergaben Folgendes:

Tabelle IX.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	16	1·43259	0·07022	0·10059	103	10·2
2	24	1·5449	0·07022	0·1054	120	11
3	15	1·60113	0·07022	0·1124	170	15·1

Es ist somit das Festigkeitsmass der Epidermis ein bedeutend grösseres als das des Grundgewebes, auf 0·01□Mm. etwa 12·1 Grm. oder auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt 58 Grm. Die Reaction mit Chlorzinkjod zeigte Cuticularisirung. Das Festigkeitsmass für 0·01□Mm. der Epidermis ist grösser als das für 0·01□Mm. des Gefässbündels. Die cuticularisirte Epidermis ist desshalb wohl geeignet, das Gefässbündel in der Festigkeit zu unterstützen.[1]

Es wurde nun untersucht, ob das pag. 308 und 309 erhaltene Resultat bezüglich der mechanischen Wirkung des Grundgewebes und der Epidermis auch für die vorher schon untersuchten Pflanzen gelte.

Hiebei wurden folgende Resultate erhalten:

---

[1] Weinzierl's Versuche (Sitzungsber. d. k. Wiener Akademie 1877 Bd. 76, p. 411 ff) ergaben das zuerst.

Tabelle X.

Pflanze	Untersuchtes Gewebe	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
		Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
Yucca	Mesophyll	15	0·632	0·19663	0·1242	20	1·6
Aspidistra	Mesophyll sammt Epidermis . . .	34	0·7584	0·2664	0·2023	80	3·9
Phönix	Mesophyll + Epidermis+subepidermale Bastbündel	20	0·7022	0·1966	0·138	330	23·9
Phönix	Mesophyll sammt Epidermis . .		0·7022	0·1966	0·124	86	7

Bei Aspidistra liess sich das Mesophyll nicht in ganzen Riemen von der Epidermis trennen, da das ganze Blatt nur eine Dicke von 0·26 Mm. hatte. Für 0·01□Mm. der Epidermis sammt Mesophyll ergab sich ein Festigkeitsmass von 3·9 Grm. auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt von 33·3 Grm., wovon noch der grössere Theil auf die cuticularisirte Epidermis zu rechnen sein wird. Auch bei Phönix liess sich das Mesophyll nicht herauspräpariren. Das Festigkeitsmass für 0·01□Mm. wurde = 23·9 Grm. gefunden, also bedeutend höher als bei Aspidistra; aber hier zeigte sich am Querschnitte des Riemens, dass sich knapp unter der Epidermis mehrere Bastbündel befanden. Das Tragvermögen für diese, deren Flächeninhalt 0·0141□Mm. und deren Festigkeitsmass also 242 Grm. war, abgerechnet, gibt für 0·01□Mm. Mesophyll + Epidermis ein Festigkeitsmass von 7 Grm., wovon wieder der grössere Theil auf die cuticularisirte Epidermis kommen muss. Bei Yucca endlich gelang es, einen Riemen von Mesophyll zu isoliren, das Festigkeitsmass für 0·01□Mm. ist 1·6 Grm.; das Mesophyll ist also auch hier dem mechanischen Systeme nicht beizuzählen.

Bei *Saxifraga sarmentosa* ist die Festigkeit der Epidermis viel grösser als bei den übrigen untersuchten Pflanzen, dagegen

die des Gefässbündels viel kleiner; es scheint demnach, als ob die Festigkeit der Epidermis im umgekehrten Verhältnisse stünde zu dem des Gefässbündels. — Erst später ad hoc anzustellende Versuche werden ergeben, ob und in wie weit dieser Satz allgemein gelte.

Ähnliche Resultate wie *Saxifraga* ergaben die Versuche mit *Plantago major* und *Plantago lanceolata*; die Gefässbündel liessen sich hier auf dieselbe leichte Weise wie dort aus dem Blattstiele herausziehen.

Die Versuche mit *Plantago major* ergaben Folgendes:

Tabelle XI.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass auf 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	26	0·4353	0·4353	0·1487	211	14·3
2	16	0·3089	0·2528	0·0613	109	17·7
3	24	0·3089	0·2528	0·0613	112	18·2

Das Festigkeitsmass für 0·01□Mm. des Querschnittes ist 16·7 Grm., für 0·01□Mm. der Zellwand 31·1 Grm.; man muss also auch hier schliessen, dass das bastfaserähnliche System gering entwickelt oder der Grad der Verholzung ein geringer, oder beides der Fall sein werde. Das Bündel zeigte im Centrum einen halbmondförmigen Xylemtheil mit ziemlich weitlumigen Gefässen, zu beiden Seiten desselben waren Bastbelege mit mässig verdickten Wänden der Bastzellen, diese wurden durch Chlorzinkjod violett gefärbt und nur der Xylemtheil war schwach verholzt. Das ganze Bündel bei Versuch 3 hatte einen Flächeninhalt von 0·061318□Mm., davon entfallen auf das Xylem 0·017244□Mm.; das ganze Festigkeitsmass für dieses in Anspruch genommen, gibt ein Festigkeitsmass für 0·01□Mm. des Xylems von 64·9 Grm., die Lumina — deren Flächeninhalt = 0·006615□Mm. — abgerechnet — von 105·3 Grm.

Der Basttheil hatte einen Flächeninhalt von 0·04409□Mm. nach Abrechnung der Lumina, von 0·02535□Mm.; das ganze Festigkeitsmass für den Basttheil in Anspruch genommen, gibt für 0·01□Mm. desselben 24·4 Grm., für 0·01□Mm. der Zellwand 44·1 Grm. — Ob man also das Festigkeitsmass für den Bast oder für das verholzte Xylem in Anspruch nimmt, jedesmal ist es ein geringes im Vergleiche zu Yucca, Aspidistra und Phönix.

Die Versuche mit *Plantago lanceolata* ergaben Folgendes:

Tabelle XII.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	18	0·32303	0·23876	0·05426	176	32·4
2	11	0·36516	0·2809	0·08052	282	35
3	19	0·33706	0·2528	0·06789	278	40·9

Das Festigkeitsmass für 0·01□Mm. des Querschnittes ist 36·1 Grm., bedeutend grösser als bei *Plantago major*. Nach dem pag. 304 ausgesprochenen Satze müsste also der Basttheil grösser und der Grad der Verholzung weiter vorgeschritten sein oder eines von beiden. Die Reaction mit Chlorzinkjod zeigte (bei Versuch 2), dass ein viel grösserer Theil des Bündels verholzt war. Während bei *Plantago major* das Verhältniss des verholzten Theiles zum ganzen Bündel etwa 4:15 ist, ist es bei *Plantago lanceolata* etwa 19:40, dort ist also etwa $^1/_4$ verholzt, hier $^1/_2$. Auch die Wände der Bastzellen sind hier bedeutend mehr verdickt.

Der Flächeninhalt der gesammten Zellwände beträgt 0·05777□Mm. (Versuch 2), das gibt für 0·01□Mm. derselben ein Festigkeitsmass von 48·8 Grm. Der Flächeninhalt des verholzten Theiles beträgt 0·03825□Mm., das Festigkeitsmass für diesen in Anspruch genommen, gibt für 0·01□Mm. desselben 73·8 Grm. und auf die Zellwand reducirt, deren Flächen-

inhalt = 0·02396□Mm. ist, 117·7 Grm. Die gesammte Festigkeit für den nicht verholzten Theil in Anspruch genommen, gibt für 0·01□Mm. ein Festigkeitsmass von 66·7 Grm. und auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt 83·4 Grm. (Flächeninhalt des nicht verholzten Theiles 0·04226□Mm., die Lumina abgerechnet 0·03381□Mm.).

Zur Übersicht seien nun die Resultate für *Plantago major* und *lanceolata* nebeneinander gestellt:

	Plantago major	*lanceolata*
Flächeninhalt des ganzen Bündels	0·0613□Mm.	0·08052□Mm.
Festigkeitsmass des ganzen Bündels	112 Grm.	282 Grm.
Festigkeitsm. für 0·01□Mm. des ganzen Bündels . . .	18·2 Grm.	35 Grm.
Flächeninhalt der gesammten Zellwand	0·03598□Mm.	0·05777□Mm.
Festigkeitsm. für 0·01□Mm. der gesammten Zellwand .	31·1 Grm.	48·8 Grm.
Flächeninhalt des verholzten Theiles	0·01724□Mm.	0·03825□Mm.
Festigkeitsm. für 0·01□Mm. des verholzten Theiles . .	64·9 Grm.	73·8 Grm.
Flächeninhalt der Zellwand des verholzten Theiles . .	0·01063□Mm.	0·02396□Mm.
Festigkeitsm. für 0·01□Mm. derZellwand des verholzten Theiles	105·3 Grm.	117·7 Grm.
Flächeninhalt des Basttheiles	0·04409□Mm.	0·04226□Mm.
Festigkeitsmass des Basttheiles	24·4 Grm.	66·7 Grm.
Flächeninhalt der Zellwand des Basttheiles	0·02535□Mm.	0·03381□Mm.
Festigkeitsm. für 0·01□Mm. derZellwand des Basttheiles	44·1 Grm.	83·4 Grm.

Schon bei Saxifraga war die grosse Dehnbarkeit auffallend. Bei Versuch 7, Tab. VII hatte sich das Bündel von einer Länge

von 61 Mm. bei einer Belastung von 130 Grm. um 13 Mm., d. i. um mehr als $^1/_5$ der ganzen Länge ausgedehnt. Ähnlich verhält es sich bei Plantago: Die Festigkeit ist gering, dagegen die Dehnbarkeit bedeutend und zwar bei *Plantago major* etwa $^1/_7$, bei *Plantago lanceolata* — wo auch die Festigkeit schon etwas grösser war — $^1/_8$ der ganzen Länge. Bei Aspidistra betrug die Ausdehnung nur $^1/_{18}$ der Länge, gering war sie auch bei Phönix und Yucca. Es scheint demnach, als ob die Dehnbarkeit des Gefässbündels mit der Festigkeit in umgekehrtem Verhältnisse stehe.

Bezüglich des Korkes von *Quercus Suber*, aus dem Riemen nach verschiedenen Richtungen herausgeschnitten wurden, zeigte sich Folgendes:

Tabelle XIII.

a) für einen Tangental-Schnitt:

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeit für 0·01□Mm.	Differenz von der Durchschnittszahl für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.	Grm.
1	10	1·30014	0·4915	0·63902	120	1·87	—0·02
2	15	1·51686	0·60393	0·91606	145	1·58	—0·31
3	6	1·15169	0·77245	0·88963	195	2·21	+0·32

Zunahme für 0·01□Mm. = 1·89 Grm.

b) für einen radialen Querschnitt:

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeit für 0·01□Mm.	Differenz
1	6	1·5449	0·3792	0·5853	185	3·16	+0·04
2	12	1·3482	0·5337	0·7195	225	3·12	—
3	10	1·264	0·4915	0·6213	192	3·09	—0·03

Zunahme für 0·01□Mm. = 3·12 Grm.

c) für einen tangentalen Querschnitt:

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeit für 0·01□Mm.	Differenz
mit Herbstkork:							
1	3	0·8427	0·3932	0·3313	105	3·17	—
ohne Herbstkork:							
2	3	0·954	0·3651	0·3486	90	2·58	—

d) für einen radialen Längsschnitt:

Versuch	Länge	Längsdurch-messer	Querdurch-messer	Flächeninhalt	Festigkeits-mass	Festigkeits-mass für 0·01□Mm.	Differenz von der Durch-schnittszahl für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.	Grm.
1	7	1·0674	0·323	0·3448	105	3·04	−0·04
2	11	1·01124	0·632	0·6391	200	3·12	+0·04

Zunahme für 9·01□Mm. = 3·08 Grm.

e) für einen tangentalen Längsschnitt:

Versuch		Länge	Längsdurch-messer	Querdurch-messer	Flächeninhalt	Festigkeits-mass	Festigkeits-mass für 0·01□Mm.
		Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	mit Herbst-kork . . .	12	0·70225	0·63202	0·4438	125	2·81
2	mit Herbst-kork . . .	8	0·73032	0·65007	0·4747	140	2·94
1	ohneHerbst-kork . . .	10	0·70225	0·3792	0·2663	55	2·1
2	ohneHerbst-kork . . .	4	0·70225	0·5056	0·355	70	1·97

Vergleicht man die Tabellen untereinander, so findet man, dass die Festigkeit je nach der Richtung des Schnittes eine verschiedene ist. Die kleinste in Tab. XIII a, Versuch 2, wurde mit 1·58 Grm. auf 0·01□Mm. gefunden, die grösste in Tab. XIII c, Versuch 1, mit 3·17 Grm. auf 0·01□Mm. Die Differenz der einzelnen Versuche untereinander (nach derselben Richtung) sind ganz geringe, sie erreichen nicht einmal 1/3 Grm. Am geringsten ist die Festigkeit des Korkes in der Richtung des Tangentalschnittes, am grössten in der des tangentalen Querschnittes mit Herbstkork. Die Differenz zwischen dem geringsten und grössten Festigkeitsmasse beträgt 1·59 Grm., also ist letzteres noch einmal so gross als ersteres. Auch die Festigkeit in der Richtung

des radialen Querschnittes und radialen Längsschnittes ist bedeutend grösser als beim Tangentalschnitt. Beim tangentalen Querschnitt und tangentalen Längsschnitt ist auch ein Unterschied, je nachdem man den Riemen aus Herbstkork oder Frühjahrskork herausgeschnitten hat, und zwar beträgt die Differenz bei ersterem 0·59 Grm., bei letzterem 0·86 Grm. zu Gunsten des Riemens mit Herbstkork.

Die Festigkeit des Korkes ist geringer als man vielleicht geneigt gewesen wäre, von vorneherein anzunehmen, geringer als bei der Epidermis. Auf 0·01 □Mm. der Zellwand reducirt, erhält man 49·57 Grm., nahezu gleichviel als für die Festigkeit der Epidermis.

Zwei weitere Versuche wurden gemacht mit dem sklerenchymatischen Endokarp von *Prunus domestica*. Beim ersten Versuche wurde für einen Flächeninhalt des Querschnittes von 0·3511 □Mm. ein Festigkeitsmass von 1112 Grm., d. i. für 0·01 □Mm. 31·7 Grm. erhalten, beim zweiten für einen Flächeninhalt von 0·1148 □Mm. ein Festigkeitsmass von 500 Grm., d. i. für 0·01 □Mm. 43·5 Grm. Auch da ist die Festigkeit geringer als man geneigt gewesen wäre, anzunehmen. Immerhin ist sie nahezu so gross als die der Epidermis und des Korkes.

Kork, Epidermis und Sklerenchym werden ihrer geringeren Festigkeit wegen nicht zu den specifisch mechanischen Geweben zu rechnen, sondern blosse Schutzgewebe sein, wohl aber dürften sie, insbesondere die Epidermis, in manchen Fällen geeignet sein, das Gefässbündel in der Festigkeit zu vertreten oder doch zu unterstützen.

Die Versuche mit Kork, dem Sklerenchym, der Epidermis, sowie auch die für die verholzten Theile des Xylems gefundenen Resultate zeigen, dass eine Änderung in der chemischen Zusammensetzung der Cellulose auch eine Änderung in der Festigkeit bedinge und zwar zu Gunsten derselben.

Weitere Versuche wurden nun angestellt mit *Archangelica officinalis* und zwar mit dem Grundgewebe, der Epidermis, und dem Xylem, ferner mit dem Collenchym.

Die Versuche mit dem Grundgewebe ergaben folgende Resultate:

Tabelle XIV.

a)

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	25	2·5281	0·4915	1·2427	48	0·38
2	22	1·5449	0·8427	1·3028	59	0·45
3	18	1·4606	0·9851	1·43602	62	0·43

Zunahme für 0·01□Mm. = 0·42 Grm.

b) Resultate für die Epidermis:

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
1	10	1·5449	0·01404	0·02169	53	24·4
2	15	0·6179	0·6179	0·00867	18	20·7
3	25	0·8707	0·8707	0·01223	24	19·6

Zunahme für 0·01□Mm. = 21·6 Grm.

Die Gefässbündel von *Archangelica officinalis* sind durch einen Ring von secundärem Xylem geschlossen; Theile von diesem liessen sich leicht herauspräpariren und konnten untersucht werden.

Die Resultate sind folgende:

c)

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	15	0·39126	0·19663	0·0607	100	164·7
2	10	0·19663	0·11236	0·01104	143	129·5
3	28	0·5618	0·0561	0·0315	430	136·2

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
4	12	0·50562	0·1264	0·0448	710	146·3
5	14	0·46347	0·14159	0·0418	590	141·1
6	25	0·63203	0·08427	0·0547	805	146·9

Zunahme für 0·01□Mm. = 144·1 Grm.

d) Resultate für das Collenchym:

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
1	12	0·42135	0·25281	0·0418	170	40·6
2	13	0·44944	0·2809	0·0433	210	48·4
3	23	0·46774	0·19663	0·07153	360	50·3
4	22	0·63202	0·23472	0·10098	432	42·7
5	12	0·5618	0·22472	0·10135	440	43·4
6	20	0·65007	0·2809	0·0712	360	50·5

Zunahme für 0·01□Mm. = 45·9 Grm.

Vergleicht man die Tabellen untereinander, so findet man, dass dem Xylem das grösste Festigkeitsmass zukommt, nämlich auf 0·01□Mm. des Querschnittes 144·1 Grm. oder auf 0·01□Mm. der Zellwand 278·5 Grm.; dann folgt das Collenchym mit 45·9 Grm. auf 0·01□Mm. oder mit 95·4 Grm. auf 0·01□Mm. der Zellwand; dann die Epidermis mit 21·6 Grm., respective 44·03 Grm.; endlich das Grundgewebe mit 0·42 Grm., respective 4·73 Grm.

Der Basttheil des Gefässbündels ist hier verhältnissmässig gering entwickelt, desto mehr das stark verholzte Xylem, diesem fällt vorzugsweise die mechanische Wirkung zu, worin es unterstützt wird vom Collenchyme.

Xylem und Collenchym von *Conium maculatum* ergaben

Tabelle XV.

a) für das Collenchym.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	24	0·39462	0·04510	0·01779	108	60·6
2	19	0·39462	0·06765	0·02095	130	62
3	28	0·54774	0·11236	0·06154	410	66·6

Zunahme für 0·01□Mm. = 63·1 Grm.

b) Auch hier waren die Gefässbündel durch einen Ring von secundärem Xylem geschlossen, von dem sich leicht Riemen herauspräpariren liessen:

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	18	0·25281	0·14045	0·035507	562	158·2
2	14	0·36516	0·11236	0·04497	652	144·9
3	13	0·42135	0·1264	0·05316	710	133·5
4	14	0·36516	0·16853	0·06154	875	142·1

Zunahme für 0·01□Mm. = 144·7 Grm.

Das Festigkeitsmass des Collenchyms für 0·01□Mm. ist 63·1 Grm., auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt 120·7 Grm.; das des Xylems ist 144·7 Grm., respective 206·8 Grm. Es zeigt sich also hier ein ähnliches Verhältniss zwischen Xylem und Collenchym wie bei Archangelica; die mechanische Wirkung liegt hauptsächlich im stark verholzten Xylem und dieses wird unterstützt vom Collenchym.

Der Bast ist gering entwickelt, er wird gleichsam vom Collenchym vertreten.

Ähnliche Verhältnisse dürften sich noch bei vielen anderen Umbelliferen und überhaupt Pflanzen ergeben, welche einen ähnlichen anatomischen Bau haben, wo also das Intrafascicularcambium bloss secundäres Xylem erzeugt. Der secundäre Bast wird für das mechanische System ersetzt durch das Collenchym. — (Das Collenchym steht ja auch morphologisch dem Baste sehr nahe.)

Fernere Versuche wurden nun gemacht mit den Bastbündeln von *Agave americana*. Diese ergaben Folgendes:

Tabelle XVI.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	38	0·16835	0·14045	0·01183	334	282·3
2	37	0·18258	0 15449	0·02306	690	299·2
3	28	0·18258	0·18258	0·02487	730	293.5
4	53	0·19663	0·19663	0·03035	934	307·7
5	62	0·36516	0·2809	0·08589	2510	292·2
6	20	0·3511	0·21067	0·07884	2530	320·9
7	20	0·37921	0·2809	0·09984	2838	284·2
8	37	0·47743	0·22472	0·10905	3036	278·4
9	43	0·42135	0·2809	0 09745	3130	321·1

Die Zunahme der Festigkeit für 0·01□Mm. ist 297·7 Grm., auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt 303·8 Grm. Das Bündel bestand bloss aus Bastfasern, die nicht verholzt waren, dagegen waren die Lumina verschwindend klein. Der Flächeninhalt der Lumina verhält sich zu dem der Zellwände wie 1:48, ein Beweis mehr für den pag. 299 ausgesprochenen Satz.

Der Bast von *Linum usitatissimum* ergab:

Tabelle XVII.

Versuch	Länge	Längsdurchmesser	Querdurchmesser	Flächeninhalt	Festigkeitsmass	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.
	Mm.	Mm.	Mm.	□Mm.	Grm.	Grm.
1	12	0·1725	0·05175	0·00892	428	479·8
2	19	0·1729	0·0552	0·00952	448	470·5
3	24	0·2242	0·0424	0·0095	487	502
4	24	0·3795	0·03795	0·0144	623	432
5	24	0·2932	0·04458	0·0131	635	482·9
6	34	0·345	0·069	0·0238	1014	426
7	32	0·3622	0·069	0·02509	1070	428

Die Zunahme der Festigkeit für 0·01□Mm. ist 460·1 Grm., auf 0·01□Mm. der Zellwand reducirt 540 Grm., bedeutender als bei allen vorher untersuchten Pflanzen. Auch hier ist die Wandverdickung eine sehr bedeutende. [1] Die Reaction mit Chlorzinkjod ergab auch hier keine Verholzung, ebensowenig wie beim Baste von Agave und wie schon früher beim Collenchym von Archangelica und Conium gefunden worden war. Es ist also nicht nothwendig, dass Bast und Collenchym, um mechanisch wirksam zu sein, verholzt sind.

Es wurde gesagt, [2] dass vom Mestome die verholzten Theile dem mechanischen Systeme beizuzählen seien; sicher ist wohl, dass die Verholzung unter sonst gleichen Umständen die Festig-

[1] Die Differenzen der Versuche untereinander und von dem gefundenen Mittel sind grösser als bei allen vorher untersuchten Pflanzen, und zwar desshalb, weil das Bastbündel beim Zerreissen in die einzelnen Fasern oder Gruppen von Fasern sich zerschlitzte, so dass die Bestimmung des Flächeninhaltes äusserst schwierig war und trotz aller Genauigkeit nur beiläufige Werthe geben konnte.

[2] Seite 305.

keit erhöhe; den verholzten Theilen wird aber noch eine andere Aufgabe zukommen, nämlich die Pflanzen zu stützen, also nicht bloss zur Festigkeit, sondern auch zur aufrechten Stellung der Pflanze beizutragen; das bewies das Fehlen bedeutenderer Verholzung bei Saxifraga, wo auch die Blattstiele nicht aufrecht stehen, ebenso bei *Plantago major;* bei *Plantago lanceolata* war der Grad der Verholzung schon bedeutender, die Blätter stehen auch schon mehr aufrecht. Zur aufrechten Stellung kann auch der Bast beitragen, das wird der Fall sein, wenn er verholzt ist, wie von den untersuchten Pflanzen bei Aspidistra, Phönix und Yucca. In anderen Fällen, wie bei Linum bleibt der Bast unverholzt, hier behält er auch seine Geschmeidigkeit bei, und darin liegt die Verwendbarkeit des Bastes für technische Zwecke.

Für die Zugfestigkeit dürfte von grösserer Bedeutung sein der Grad der Wandverdickung, für die Festigkeit gegen das Zerdrücken und das Biegen werden insbesondere der Grad der Verholzung, überhaupt chemische Veränderung der Cellulose massgebend sein. [1]

Auf Grund der vorstehenden Untersuchungen könnte man nun annehmen, dass der Grad der Wandverdickung hauptsächlich die Grösse der Festigkeit bestimme. Die Wandverdickung dürfte aber nicht allein massgebend sein, da wohl nicht anzunehmen ist, dass $^1/_{100}$□Mm. stark verdickter Cellulose (beim Baste) mehr tragen soll als $^1/_{100}$□Mm. schwach verdickter Cellulose (beim Grundgewebe); aber selbst bei Zellengeweben mit stark verdickten Wänden, beim Baste und Collenchym, ist der Unterschied in der Festigkeit bedeutender, als er vermöge des Unterschiedes der Wandverdickungen sein sollte; und selbst beim Baste allein wächst die Festigkeit nicht genau in demselben Verhältnisse wie die Wandverdickung; das zeigten die Resultate für Agave und Linum. Dort ist die Wandverdickung bedeutender als hier und doch hier die Festigkeit grösser; noch weniger steht bei Plantago die Festigkeit in den übrigen Versuchen entsprechendem Ver-

---

[1] Das erhellt auch schon aus dem chemischen Vorgange bei der Verholzung; diese besteht in der Aufnahme von Kohlenstoff und Wasserstoff, also in einer Zunahme der Cellulose an fester Substanz, wodurch diese auch in mechanischer Beziehung eine Änderung erleidet.

hältnisse zur — wenn auch nicht allzubedeutenden — Wandverdickung. — Es muss also die Verschiedenheit in der Festigkeit zwischen Bast und Collenchym derselben und verschiedener Pflanzen und des Bastes verschiedener Pflanzen, sowie des Collenchymes verschiedener Pflanzen ausser von dem Grade der Wandverdickung auch noch von anderen Umständen abhängen. Vielleicht spielt die Anordnung der Moleküle eine Rolle; von Wichtigkeit wird jedenfalls die Form der Zelle und die Art der Wandverdickung sein.

Inwieferne derartige Einflüsse sich geltend machen, wird das Ziel weiterer Untersuchungen sein.[1]

Zum Schlusse seien noch die gefundenen Resultate übersichtlich zusammengestellt:

Tabelle XVIII.

Name der Pflanze	Art des untersuchten Gewebes	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. des Flächeninhaltes	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. der Zellwand	Grösster Querschnitt	Grösstes Festigkeitsmass
		Grm.	Grm.	□Mm.	Grm.
Aspidistra lurida	Gefässbündel	156.3	254·2	0·0817	1243
„	Mesophyll+Epidermis	3·9	33·9	0·2023	80
Phoenix dactylifera	Gefässbündel	172·2	248·28	0·05898	1013
„	Mesophyll+Epidermis +mehrere subepidermale Bastbündel	23·9	—	0·13806	330
„	Mesophyll+Epidermis	7	—	0·124	86·8
Yucca pendula	Gefässbündel	97·5	218·1	0·03147	317
„	Bastfasern	242·7	251	0·00946	225
„	Mesophyll	1·6	—	0·12425	20
„	Mestom	2·5	8	—	—

[1] Wichtige Bemerkungen über derartige Einflüsse finden sich ebenfalls schon in dem Eingangs erwähnten Werke Schwendeners (p. 1).

Name der Pflanze	Art des untersuchten Gewebes	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. des Flächeninhaltes	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. der Zellwand	Grösster Querschnitt	Grösstes Festigkeitsmass
		Grm.	Grm.	□Mm.	Grm.
Saxifraga sarmentosa	Gefässbündel	4·3	29·3	0·387	203
„	Mesophyll	0·3	7·2	0·7668	18
„	Epidermis	12·1	58	0·1124	170
Plantago major	Gefässbündel	16·7	31·1	0·1487	211
„	Bast	24·4	44·1	0·04409	—
„	Xylem	64·9	105·3	0·01724	—
Plantago lanceolata	Gefässbündel	35	48·8	0·08052	282
„	Bast	66·7	83·4	0·04226	—
„	Xylem	73·8	117·7	0·03825	—
Quercus Suber	Kork	1·58—3·17	49·57	0·7195	225
Prunus domestica	Sklerenchym . . .	37·6	—	0·3511	1112
Conium maculatum	Collenchym	63·1	120·7	0·10487	515
„	Xylem	144·7	206·8	0·06154	875
Archangelica officinalis	Grundgewebe . . .	0·42	4·73	1·43602	62
„	Epidermis	21·6	44·03	0·02169	53
„	Collenchym	45·9	95·4	0·0712	630
„	Xylem	144·1	278·5	0·05478	805
Agave americana	Gefässbündel	297·7	303·8	0·10907	3036
Linum usitatissimum	Bast	460·1	540	0·02509	1070

Zur Vergleichung diene nachstehende aus dem Taschenbuche für Ingenieure „die Hütte“ (aus einem der letzten Jahrgänge) entnommene Tabelle für die Tragfähigkeit von Metallen bis zum Zerreissen:

Name	In ungeglühtem Zustande	In geglühtem Zustande	Festigkeitsmass für 0·01□Mm.	
	Kgrm. für 1□Mm.	Kgrm.	ungeglüht	geglüht
			Grm.	Grm.
Stahldraht	71	48	710	480
Bester Eisendraht . . .	62·5	29	625	290
Gewöhnlicher Eisendraht	54	23	540	230
Messingdraht	51	28	510	280
Kupferdraht	35	18·5	350	185
Platindraht	27	22	270	220
Zinkdraht	11·75	—	117·5	—
Hartes Blei	1·75	—	17·5	—
Weiches Blei	1·35	—	13·5	—

Vergleicht man die letzte Tabelle mit der vorigen und den aus Schwendeners Werke aufgenommenen, im Eingange der Arbeit aufgestellten, so findet man, dass innerhalb der Elasticitätsgrenze der Bast die Tragfähigkeit gehämmerten angelassenen deutschen Stahles erreicht. Bestimmt man aber die Tragfähigkeit bis zum Zerreissen, so erreicht der Bast in seinen besten Qualitäten (von den untersuchten Pflanzen bei Linum) das Tragvermögen gewöhnlichen Eisendrahtes in ungeglühtem und die des Stahldrathes in geglühtem Zustande; selbst in schlechteren Qualitäten übersteigt er noch die des Bleies; Collenchym erreicht die Tragfähigkeit des Zinkdrahtes, verholztes Xylem die des Platindrahtes.

Auch das ist ersichtlich, dass der Unterschied zwischen der Tragfähigkeit innerhalb der Elasticitätsgrenze und der bis zum Zerreissen bei den Metallen grösser ist, als bei den mechanischen Geweben der Pflanze (siehe oben Seite 294).

Die aus den Versuchen gezogenen Resultate lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

I. Zum mechanischen Systeme der Pflanze gehören der Bast, das bastähnliche Collenchym und gewisse Elemente des Xylems (übereinstimmend mit Schwendener).

II. Auch die Zugfestigkeit der Epidermis erreicht in manchen Fällen nahe die des Collenchyms, sie wird also in diesen Fällen, wo das Tragvermögen im Gefässbündel gering ist (Saxifraga) stellvertretend, als mechanisches Gewebe gelten. Im Allgemeinen aber wird sie, ebenso wie der Kork und das Sklerenchym, deren Zugfestigkeit jener der Epidermis nahe kommt, dem mechanischen Systeme nicht beizuzählen sein.

III. Die Zugfestigkeit des Grundgewebes ist eine geringe und kommt für die Festigkeit der Pflanze nicht in Betracht. Ebensowenig sind die nicht verholzten und nicht stark verdickten Theile des Xylems in Betracht zu ziehen.

IV. Die Festigkeit der mechanischen Gewebe wächst mit der Verdickung der Zellwand. Auch die Verholzung wird zur Vermehrung der Festigkeit beitragen. Vom Xylem sind es insbesondere die verholzten Theile, welche zur Vermehrung der Festigkeit beitragen; je weiter daher der Grad der Verholzung vorgeschritten ist, einen desto grösseren Antheil an der Festigkeit des Gefässbündels wird das Xylem haben.

Verholzung bedingt aber nicht bloss Zugfestigkeit, sondern auch Festigkeit gegen Zerdrücken und Biegen, trägt also zur aufrechten Stellung der Pflanze bei. Das gilt auch vom verholzten Baste (Yucca, Aspidistra Phönix), unverholzter (Linum, Cannabis), dagegen bleibt geschmeidig und biegsam und desshalb technisch verwendbar.

Im Allgemeinen wurde das Tragvermögen des Bastes grösser als das des Xylems gefunden, in manchen Fällen, wo der Bast gering entwickelt ist, erreicht die Festigkeit des Xylems die des besseren Bastes (Archangelica, Conium); wo der Bast keine besonders wichtige Rolle spielt, tritt das Collenchym in grösserer Entwicklung unterstützend, den Bast ersetzend, auf (Umbelliferen); doch erreicht die Festigkeit desselben bei den untersuchten Pflanzen nicht die des besseren Xylems.

V. Die Dehnbarkeit steht in verkehrtem Verhältnisse zur Festigkeit. Dass die Dehnbarkeit abnehmen werde mit dem Grade der Verholzung, ist wohl leicht anzunehmen, aber auch unverholzte Bastbündel (Agave, Linum) zeigen eine grosse Festigkeit, jedoch eine geringe Dehnbarkeit.

Die Pflanze ist durchzogen von mechanischen Gewebesträngen, deren Zugfestigkeit die der festesten Metalle erreicht. Durch eine zweckmässige Combination der aus verholzter, überhaupt chemisch veränderter Cellulose und der aus chemisch nicht veränderter Cellulose bestehenden mechanischen Zellformen ertheilen diese Gewebe der Pflanze nicht bloss Festigkeit gegen Zug, sondern auch gegen Zerdrücken und Biegen; sie sind biegsam genug, um dem Zerbrechen durch Bewegung des Windes oder anderer Kräfte hinreichenden Widerstand entgegensetzen zu können; den Metallen gegenüber haben sie noch den Vortheil, dass sie leicht genug dehnbar sind, um das Wachsthum der Pflanze nicht zu hindern.
